UNIVERSITÉ DE LILLE

UFR3S-MÉDECINE

Année : 2025

THÈSE POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN MÉDECINE

La courbe d'apprentissage de l'échodoppler transcrânien chez des internes novices d'échographie, dans le cadre du traumatisme crânien

Présentée et soutenue publiquement le 25 avril 2025 à 16 heures
au *Pôle Formation*

par Hella BEN AMMAR

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Éric WIEL

Assesseurs :

Madame le Docteur Alice DELACROIX DUBART

Monsieur le Docteur Adrien WAUQUIER

Directeur de thèse :

Monsieur le Docteur Alain-Éric DUBART

Avertissement :

La Faculté n’entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

Sigles

DTC : Doppler Transcrânien

ACA : Artère cérébrale antérieure

ACM : Artère cérébrale moyenne

ACP : Artère cérébrale postérieure

Vs : Vitesse systolique

Vd : Vitesse diastolique

Vm : Vitesse moyenne

IP : Index de pulsatilité

PIC : Pression intracrânienne

PPC : Pression de perfusion cérébrale

PAM : Pression artérielle moyenne

SFAR : Société Française d'Anesthésie et Réanimation

ACSOS : Agression cérébrale secondaire d'origine systémique

HTIC : Hypertension intracrânienne

DSC : Débit sanguin cérébral

PSV : Peak systolic velocity

EDV : End diastolic velocity

LC - CUSUM : Learning Curve Cumulative Summation

ACEP : American College of Emergency Physicians

FAST : Focused Assessment with Sonography in Trauma

DESMU : Diplôme d'état spécialisé en médecine d'urgence

SFMU : Société Française de Médecine d'Urgence

SMUR : Service Mobile d'Urgence et de Réanimation

IOA : Infirmier Organisateur de l'Accueil

Sommaire :

Avertissement 2

Remerciements 3

Sigles 8

Sommaire 9

Résumé 10

Abstract 11

Introduction 12

Matériels et Méthodes 19

Résultats 27

Discussion 32

Conclusion 43

Bibliographie 44

Annexe 46

Résumé :

Contexte : Le Doppler transcrânien (DTC) permet une détection précoce des anomalies du flux sanguin cérébral, permettant ainsi une prise en charge rapide des patients cérébrolésés pour limiter les lésions secondaires et améliorer leur pronostic. Toutefois, son utilisation par les urgentistes reste limitée en raison de sa complexité perçue et de la nécessité d'une formation spécifique. Ainsi notre étude a pour objectif d'étudier la courbe d'apprentissage du DTC chez des internes novices, afin de pouvoir mieux l'intégrer dans notre pratique quotidienne et la prise en charge du traumatisé crânien.

Matériel et Méthodes : 13 internes novices ont été inclus dans cette étude, dont 10 internes de médecine d'urgence et 3 internes de médecine générale. Après une courte formation théorique, ils ont réalisé à 10 reprises sur volontaire sain une coupe d'échographie de doppler transcrânien, et ont mesuré l'index de pulsatilité. Les images ont été relues en aveugle par un expert, qui les a notées comme des réussites ou des échecs. Une courbe d'apprentissage a ensuite été modélisée pour chaque interne par la méthode LC CUSUM. Les participants ont répondu à un questionnaire de satisfaction à la fin de notre étude.

Résultats : La courbe d'apprentissage des internes réalisée par la méthode LC-CUSUM, avec une limite h fixée à 0,20, montre que 3 participants ont acquis la compétence globale au bout des 10 sessions.

Conclusion : Notre étude a mis en évidence une progression relativement rapide et linéaire chez la majorité des participants, avec trois d'entre eux ayant acquis la compétence technique après 10 sessions. D'autres études impliquant un suivi prolongé et un nombre accru de participants seraient nécessaires pour valider nos résultats.

Abstract :

Context: Transcranial Doppler (TCD) enables early detection of cerebral blood flow abnormalities, allowing for rapid management of brain-injured patients to limit secondary damage and improve prognosis. However, its use by emergency physicians remains limited due to its perceived complexity and the need for specific training. Therefore, our study aims to assess the learning curve of TCD among novice residents to better integrate it into daily practice and the management of traumatic brain injury.

Materials and Methods: 13 novice residents were included in this study, including 10 emergency medicine residents and 3 general practice residents. After a brief theoretical training session, they performed transcranial Doppler ultrasound imaging on a healthy volunteer ten times and measured the pulsatility index. The images were reviewed blindly by an expert, who classified them as successful or failure. A learning curve was then modeled for each resident using the LC-CUSUM method. At the end of the study, participants completed a satisfaction questionnaire.

Results: The residents' learning curve, assessed using the LC-CUSUM method with a threshold (h) set at 0.20, showed that three participants achieved overall the competence after ten sessions.

Conclusion: Our study highlighted a relatively rapid and linear progression among most participants, with three of them achieving technical proficiency after ten sessions. Further studies involving prolonged follow-up and a larger number of participants would be necessary to validate our results.

Introduction :

L'échographie Doppler transcrânienne (DTC) est une modalité diagnostique non invasive permettant d'évaluer la circulation cérébrale en temps réel, offrant une aide précieuse à l'orientation diagnostique et thérapeutique en médecine d'urgence. Initialement réservée aux neurologues ou radiologues spécialisés, cette technique connaît un intérêt croissant au sein des services d'urgence en raison de sa capacité à identifier rapidement des situations critiques telles que l'hypertension intracrânienne, le vasospasme cérébral, ou encore l'arrêt circulatoire cérébral. (1)

Développé par Aaslid R, en 1982 (2), le Doppler transcrânien repose sur l'effet Doppler, qui mesure les variations de fréquences des ultrasons réfléchis par les globules rouges en mouvement. Cette technique permet ainsi d'évaluer la vélocité du flux sanguin. (3)

L'os atténuant fortement les ultrasons, une fréquence de 2MHz est privilégiée pour l'exploration transcrânienne. Parmi les différentes fenêtres acoustiques utilisables pour étudier les vaisseaux cérébraux, la fenêtre temporale constitue la référence.

Située au-dessus de l'arcade zygomatique, entre le tragus et le canthus externe, cette fenêtre est divisée en trois zones :

- Antérieure
- Médiane, caractérisée par un angle d'insonation proche de zéro, ce qui la rend idéale
- Postérieure, souvent la seule accessible chez les sujets âgés, en raison de l'hyperostose temporale.

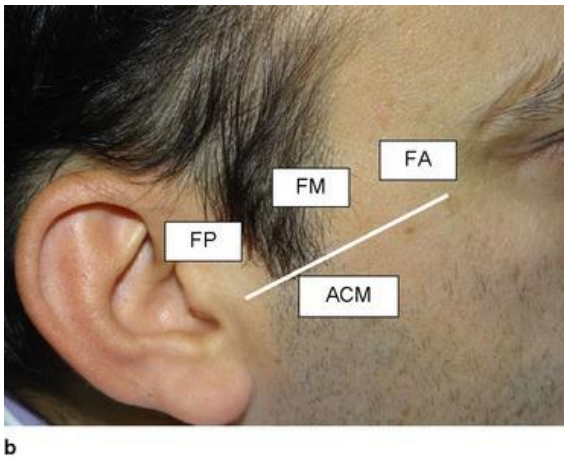


Figure 1 : Fenêtres osseuses acoustiques temporales : antérieure (FA), médiane (FM), postérieure (FP) (4)

A travers cette fenêtre, il est possible de visualiser plusieurs artères cérébrales, notamment l'ACA, ACM et ACP. Cependant, l'ACM est l'artère la plus fréquemment explorée au DTC, obtenue à une profondeur entre 45 et 60 mm, car elle représente 60% du flux de l'hémisphère cérébrale étudié, constituant ainsi, un indicateur clé du débit sanguin cérébral.

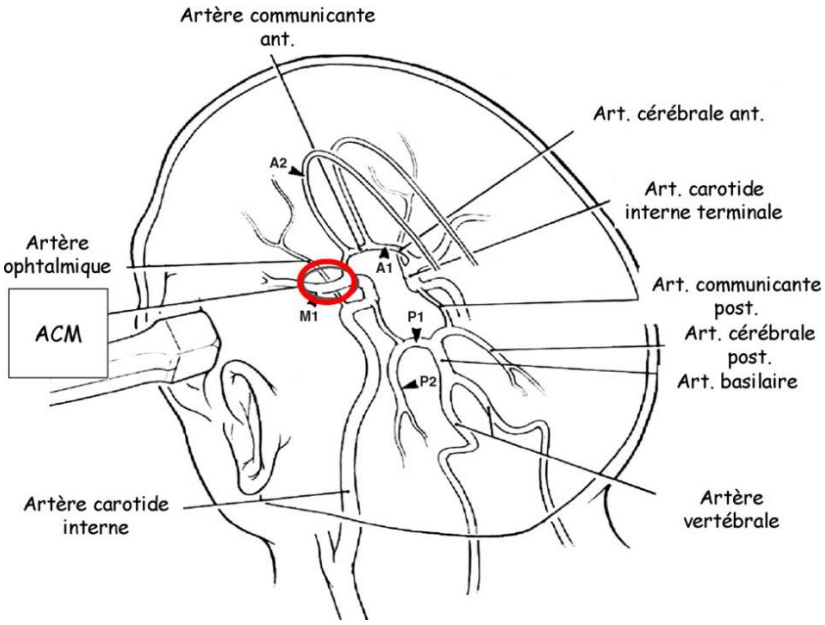


Figure 2 : Doppler Transcrânien réalisé en fenêtre temporale. Position de la sonde Doppler et aspect du réseau artériel (ACM : artère cérébrale moyenne)

(5)

Le débit sanguin dans un vaisseau (Q) est défini par le produit de la vélocité (V) et de la surface étudiée (S) : **Q= S x V**. Ainsi, la vélocité mesurée en Doppler constitue un reflet indirect du débit sanguin cérébral.

L'analyse spectrale, qui repose sur l'étude des courbes de vélocités maximales, permet de mesurer trois paramètres essentiels :

- La vitesse systolique (Vs), correspondant au pic de l'enveloppe spectrale en systole, dépendant de la pression artérielle systolique
- La vitesse diastolique (Vd), en fin de diastole, variant en fonction des résistances vasculaires et de la pression de perfusion cérébrale (PPC = PAM – PIC)
- La vitesse moyenne (Vm), représentant l'aire sous la courbe des vitesses moyennes.

A partir de ces mesures, il est possible de calculer l'index de pulsatilité (IP) selon la formule suivante : **IP = (Vs – Vd) / Vm**, avec une valeur normale définit à 1 ± 0,2.
La mesure de l'IP permet de s'affranchir de l'angle d'insonation lors de l'interprétation du DTC. L'IP présente une corrélation positive avec la pression intracrânienne (PIC) et, avec la vitesse diastolique, constitue un paramètre clé pour caractériser le flux sanguin cérébral. L'analyse de ces valeurs permet de détecter précocement des anomalies du flux sanguin, optimisant ainsi la prise en charge des patients cérébrolésés, et contribue à la prévention de lésions secondaires. (5,6)

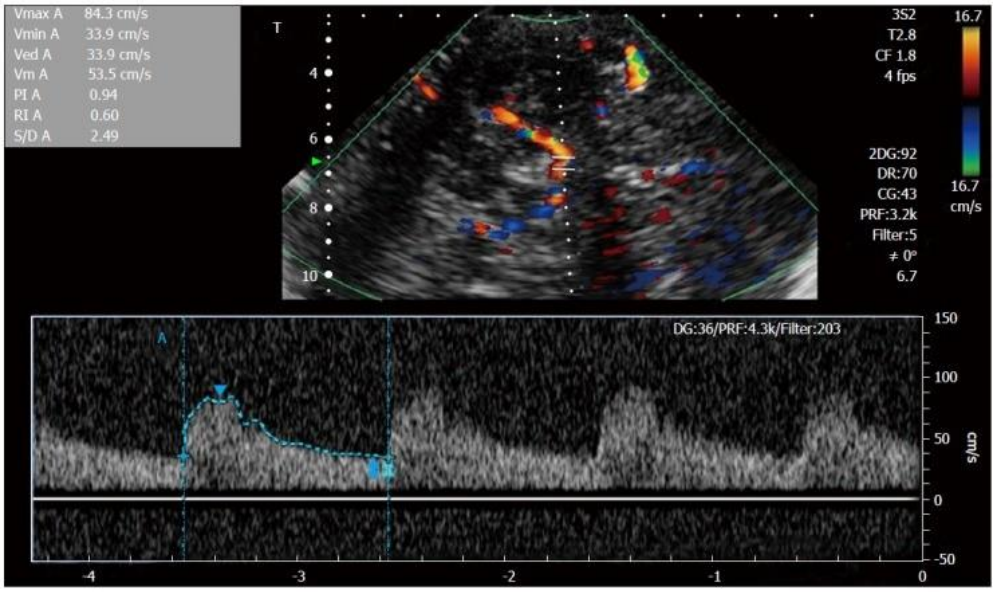


Figure 3 : Étude de l'enveloppe spectrale d'un DTC de l'ACM (7)

Le traumatisme crânien représente une problématique majeure en médecine d'urgence, entraînant une morbidité et mortalité importantes. Ainsi une prise en charge rapide du patient cérébrolésé est essentielle.

Selon les recommandations de la SFAR, l'évaluation clinique initiale repose sur l'échelle de Glasgow, qui permet de classer les patients en trois catégories : traumatisme crânien léger (Glasgow > 13), modéré (Glasgow ente 9 et 13) et grave (Glasgow < 9).

	Réponse Motrice (M)	Réponse Verbale (V)	Réponse Oculaire (O)
6	Exécution des ordres simples		
5	Orientée à la douleur	Orientée	
4	Retrait à la douleur	Confuse	Spontanée
3	Flexion anormale/ Décortication	Inappropriée	A la parole
2	Extension à la douleur/ Décérébration	Incompréhensible	A la douleur
1	Aucune	Aucune	Aucune

Figure 4 : Échelle de Glasgow (8)

Par ailleurs, il est crucial d'identifier et de corriger les facteurs systémiques d'agression secondaire, regroupés sous l'acronyme ACSOS (hypoxémie, hypo/hypercapnie, anémie, hypotension…) car ils influencent directement le pronostic vital et favorisent le développement d'une hypertension intracrânienne (HTIC) et augmentent le risque d'ischémie cérébrale secondaire (8,9).

Parmi ces facteurs, l'autorégulation cérébrale joue un rôle clé en maintenant un débit sanguin cérébral (DSC) constant malgré les variations de pression artérielle. En cas d'hypotension, la vasodilatation des vaisseaux cérébraux va tenter de compenser la baisse du flux sanguin, mais cela peut entraîner une élévation de la pression intracrânienne (PIC) et une diminution de la pression de perfusion cérébrale (PPC), augmentant ainsi le risque d'ischémie. Toutefois, lorsque ce mécanisme d'autorégulation est dépassé, la PPC devient directement dépendante de la PAM. Ainsi, un monitorage, permet d'adapter la PAM afin de maintenir une PPC physiologique entre 60 et 80mmHg, optimisant la perfusion des tissus cérébraux. (10)

Dans ce contexte, la capnie, intervient également comme régulateur majeur du DSC et du tonus vasculaire. Une hypocapnie, entraîne une vasoconstriction cérébrale, augmentant les résistances vasculaires et réduisant le DSC, ce qui peut aggraver une ischémie préexistante. A l'inverse, l'hypercapnie, induit une vasodilatation, favorisant l'augmentation du DSC mais le risque d'aggraver une HTIC. (5)

Le DTC se révèle donc être un outil précieux pour l'hémodynamique cérébrale. En effet, une association de vélocité diastolique basse (Vd) et d'un indice de pulsatilité (IP) élevé, traduit une augmentation des résistances artérielles cérébrales. Ils constituent un marqueur d'une hypertension intracrânienne. (11)

Des études ont montré qu'un index de pulsatilité (IP) < 1,25 et une vitesse diastolique (Vd) > 25 cm/s étaient associés à une absence d'aggravation neurologique précoce. (12)

Dans une étude prospective menée par Tazarourte et al. en 2011, 18 patients présentant un traumatisme crânien grave (Glasgow < 9) ont été inclus. Un DTC pathologique était défini par une IP > 1,4 et une vélocité diastolique basse. Parmi ces patients, 9 présentaient initialement un DTC anormal et ont été traités par osmothérapie. Après traitement, 5 d'entre eux ont vu leur DTC se normaliser et 2 ont récupérer une réactivité pupillaire. En revanche, aucun des patients avec un DTC normal n'est décédé d'une cause neurologique. Ainsi ces résultats, montrent que le DTC permet d'identifier précocement les patients à risque, même en l'absence de signes cliniques évidents (comme la mydriase aréactive), et contribue ainsi à améliorer leur pronostic. (13)

Ces résultats ont été confirmés par l'étude de Bouzat et al. en 2016. Dans cette étude observationnelle prospective, 356 patients avec un score de Glasgow compris entre 9 et 15 ont été inclus. Un DTC normal était défini par un IP < 1,25 et une Vd >25cm/s. Il présentait une valeur prédictive négative de 98%, ce qui signifie qu'un DTC normal permet d'exclure avec quasi-certitude une dégradation neurologique secondaire chez les patients traumatisés crânien. (14)

Ainsi, un monitorage précoce, tel que celui offert par le Doppler transcrânien, est essentiel pour détecter rapidement des anomalies du flux sanguin cérébral et initier rapidement un traitement adapté, notamment une osmothérapie, afin de limiter les lésions secondaires et améliorer ainsi le pronostic neurologique et vital des patients. (11)

Cependant, l'adoption du DTC par les médecins urgentistes reste limitée en pratique clinique quotidienne, notamment en raison de sa complexité technique perçue et de la nécessité d'une

formation spécifique préalable. Ainsi, une des questions clés concernant la généralisation de cette technique au sein des équipes d'urgence est celle de la courbe d'apprentissage : combien de temps ou d'examens sont nécessaires pour qu'un urgentiste novice puisse acquérir les compétences nécessaires pour réaliser efficacement un DTC et interpréter correctement ses résultats ?

Explorer cette courbe d'apprentissage revêt donc un intérêt majeur pour structurer des programmes de formation efficaces et adaptés aux contraintes opérationnelles des services d'urgence. En déterminant précisément la progression attendue de novices dans la réalisation d'examens DTC fiables, il devient possible de mieux définir les ressources pédagogiques nécessaires, d'améliorer l'autonomie diagnostique des urgentistes et, par conséquent, d'optimiser la prise en charge des patients en situation neurologique aiguë.

Cette thèse s'inscrit précisément dans cette perspective, en étudiant de façon rigoureuse et objective la courbe d'apprentissage du Doppler transcrânien par des urgentistes novices, afin de fournir des éléments solides permettant une meilleure intégration de cette technologie dans la pratique courante en médecine d'urgence.

Matériel et méthodes :

I- Type d'étude :

Il s'agit d'une étude prospective, observationnelle et monocentrique réalisée au Centre Hospitalier de Béthune, de février 2024 à septembre 2024.

L'objectif principal de cette étude, est d'établir une courbe d'apprentissage de l'échodoppler transcrânien chez des internes novices en échographie, appliquée spécifiquement au traumatisme crânien.

Notre étude porte sur la réalisation d'une coupe transcrânienne en Echodoppler, la mesure de l'IP et de l'analyse de l'enveloppe spectrale.

Les objectifs secondaires sont d'évaluer le temps nécessaire à la réalisation d'une coupe échographique au fil des séances et la satisfaction ainsi que le ressenti des internes après la formation.

II - Critères de jugement :

Le **critère de jugement principal,** est l'analyse de l'évolution pour chaque coupe de chaque candidat au cours des différentes sessions, afin d'estimer le nombre de coupes d'échographies nécessaires pour la maîtrise du geste échographique définie par :

- L'obtention d'une coupe échographique valide, en fenêtre temporale avec la visualisation de l'ACM ainsi qu'une enveloppe spectrale nette, avec une mesure correcte de l'index de pulsatilité.

Les candidats vont placer la sonde en fenêtre temporale, puis en passant sur le mode couleur, vont pouvoir repérer l'ACM.

Les internes, en passant sur le mode pulsé, vont pouvoir obtenir le signal doppler avec les vitesses systoliques et diastoliques. Une fois l'enveloppe spectrale obtenue, les candidats vont placer le curseur sur le pic le plus élevé du cycle (qui correspond au PSV, c'est-à-dire, la vitesse maximale du flux sanguin enregistrée pendant la systole) et le relier, au point le plus bas de l'enveloppe spectrale, à la fin de la diastole (ce qui correspond au EDV, la vitesse du flux sanguin en fin de diastole), ce qui va permettre de mesurer l'IP.

Les **critères de jugement secondaires,** portent sur :

- Le temps nécessaire pour la réalisation d'une coupe échographique, par chronométrage directe.
- La satisfaction subjective des internes vis-à-vis de la formation.

III- Critères d'inclusion et d'exclusion :

Le critère d'inclusion est :

- Interne en médecine, exerçant dans un service d'accueil d'urgences, dans le Nord Pas de Calais

Le critère d'exclusion est :

- interne détenteur d'un DIU d'échographie

IV- La population étudiée :

Parmi les internes d'urgences des promotions 2021, 2022 et 2023 du Nord Pas de Calais et des internes de médecine générale exerçant aux urgences du Centre Hospitalier de Béthune, 13 ont été inclus dans notre étude, sur la base du volontariat.

Au préalable, un questionnaire a permis de recueillir leur identité, leur spécialité, l'année d'internat, leur niveau de formation en échographie ainsi que leur consentement à participer à l'étude. (Annexe 1)

Les caractéristiques de notre population d'étude sont résumées dans le tableau ci-dessous (tableau 1).

Ensuite, ils ont été anonymisés et avec un tirage au sort, un numéro entre 1 et 13 leur a été attribué.

Participant	Spécialité	Semestre	Formation ECMU	Stage Réanimation	Utilisation DTC
1	DESMU	1er semestre	ECMU 1	Non	Non
2	Médecine Générale	1er semestre	Non	Non	Oui
3	Médecine générale	1er semestre	Non	Non	Non
4	DESMU	4ème semestre	ECMU 1	Non	Oui
5	DESMU	4ème semestre	ECMU 1	Non	Non
6	DESMU	4ème semestre	ECMU 1	Non	Non
7	DESMU	4ème semestre	ECMU 1	Non	Non
8	DESMU	4ème semestre	ECMU 1	Non	Non
9	DESMU	5ème semestre	ECMU 1 et 2	Oui	Non
10	DESMU	4ème semestre	ECMU 1	Non	Non
11	DESMU	5ème semestre	ECMU 1 et 2	Non	Non
12	Médecine générale	1er semestre	Non	Non	Non
13	DESMU	7ème semestre	ECMU 1 et 2	Oui	Oui

Tableau 1 : Caractéristiques de la population de l'étude

V- Le recueil de données :

1) La formation théorique :

Les internes inclus, ont bénéficié d'une formation théorique d'une heure, le 8/11/2023 et le 15/11/2023, au CH de Béthune, sous forme de diaporama, en présence d'un médecin urgentiste, titulaire d'un DIU en échographie.

Le cours portait sur l'échodoppler transcrânien et de son intérêt dans la prise en charge des traumatismes crâniens aux urgences. Le diaporama comportait des rappels sur l'effet Doppler, la

technique pour visualiser l'ACM, les mesures nécessaires, leur signification et les critères de qualité de ces mesures. (Annexe 4)

Les diaporamas ont ensuite été laissés à disposition sur une plateforme, DIGIFORMA, et chaque interne pouvait s'y référer au rythme souhaité.

A l'issue de la formation théorique, nous avons procédé à une démonstration pratique, en présence du médecin urgentiste référent. Le but étant d'expliquer aux candidats, les modalités d'utilisation de l'appareil à échographie et d'obtention de la coupe nécessaire dans le cadre de notre étude, ainsi que les mesures et les critères de qualité attendus.

2) La formation pratique :

Une formation pratique a ensuite été débuté, entre le 22/2/2024 et le 17/7/2024, au sein du Centre Hospitalier de Béthune. Durant de cette période, les candidats ont réalisé un apprentissage autonome, sur un total de 10 sessions.

Au cours de chaque session, chaque candidat a réalisé sur un volontaire sain, une coupe d'échodoppler transcrânienne, unilatérale.

Les volontaires sains correspondaient à l'ensemble des internes inclus. En effet, ils ont réalisé, l'ensemble des coupes entre eux, au cours des différentes sessions.
Chaque candidat, devait donc, obtenir une enveloppe spectrale et mesuré l'IP. La mesure du temps de réalisation était faite en prenant l'horaire sur la première et dernière image.

Et un maximum de 2 coupes par session, était autorisé.

Ensuite, les coupes réalisées étaient pseudonymisées du numéro attribué à chaque candidat. Puis, elles ont été numérisées et stockées sur un drive, portant le numéro de chaque candidat et le numéro de session associée.

A l'issue des 10 sessions, les images ont été, relues et analysées par un évaluateur. Il s'agit d'un sénior expert en échographie d'urgence, titulaire d'un DIU d'échographie.

L'expert selon les critères de qualité prédéfinies suivants, attribuait une note à la coupe de chaque candidat :

- Une image entre 5 et 10 cm de profondeur
- Une bonne visualisation de l'ACM au Doppler couleur
- Une enveloppe spectrale bien définie
- La mesure en télédiastole
- Les mesures sur le bord externe de l'enveloppe spectrale

Ainsi, la coupe était considérée comme réussie uniquement lorsque la note maximale de 5/5 était obtenue ; toute autre note correspondait à un échec.

3) Questionnaire de satisfaction :

A la fin de l'étude, un questionnaire de satisfaction a été distribué à chacun des candidats. Ce questionnaire a été envoyé par mail à chaque candidat et comportait 8 questions sur la formation théorique et pratique et leurs bénéfices. (Annexe 3)

Les réponses ont été gardées pseudonymisées.

V- Matériels utilisés :

Pour notre étude, l'appareil utilisé était un échographe SIEMENS Juniper avec une sonde cardiologique phase Array 3-6MHz.

VI- Analyse statistique :

Pour l'analyse statistique de notre étude, nous avons opté pour la méthode LC-CUSUM (Learning Curve Cumulative Summation).

Il s'agit d'une technique statistique, utilisée pour analyser et évaluer les performances d'apprentissage progressif.

Le LC-CUSUM, suit les performances individuelles en les comparant à un seuil prédéfini de compétence. Chaque résultat est enregistré et cumulé en fonction d'une échelle logarithmique, permettant de détecter si un apprenant dépasse ou ne parvient pas à atteindre les objectifs de performances attendus.

Dans cette étude, cette méthode a été appliquée à la réalisation d'échographies doppler transcrânien par les internes, afin de déterminer à partir de combien d'échographies chaque interne maîtrise la technique.

La méthode LC-CUSUM suppose que l'interne est non compétent à la première échographie et permet de détecter lorsqu'il a atteint le niveau de performance préalablement défini comme acceptable. Le score LC-CUSUM augmente à chaque succès et diminue à chaque échec. L'interne est considéré comme non-compétent tant que le score LC-CUSUM reste inférieur à une limite, notée h.

Nous avons considéré 5% comme un taux d'échecs acceptable et 2.5% comme la déviation acceptable par rapport à la performance adéquate. Avec ces paramètres, le poids d'un succès était de +0,027 et le poids d'un échec de -0,405. Des simulations numériques (10 000 simulations de séries de 10 lectures) ont permis de définir une limite h = 0.20 dont la performance est : 73% de probabilité de détecter un niveau de performance adéquat (vrais positifs) et 62% de probabilité de déclarer comme adéquate alors qu'elle ne l'est pas (faux positifs).

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R (version 4.4.1).

Cette approche est donc efficace, pour suivre l'acquisition progressive de compétences.

Lorsque le score dépasse cette limite, l'interne est considéré comme compétent.

Pour les variables qualitatives, elles ont été décrites en termes de fréquences et de pourcentages.

Les variables quantitatives ont été décrites par la médiane et l'intervalle interquartile.

VII- Éthique et déclaration :

Notre étude a fait l'objet d'une déclaration à L'URC du GHT Artois qui dispose de la méthodologie de recherche MR004.

Elle a également fait l'objet d'une déclaration de conformité, auprès de la CNIL. (Annexe 2)

Résultats :

I - L'évolution sur l'acquisition d'une coupe échographique de doppler transcrânien, chez chacun des internes :

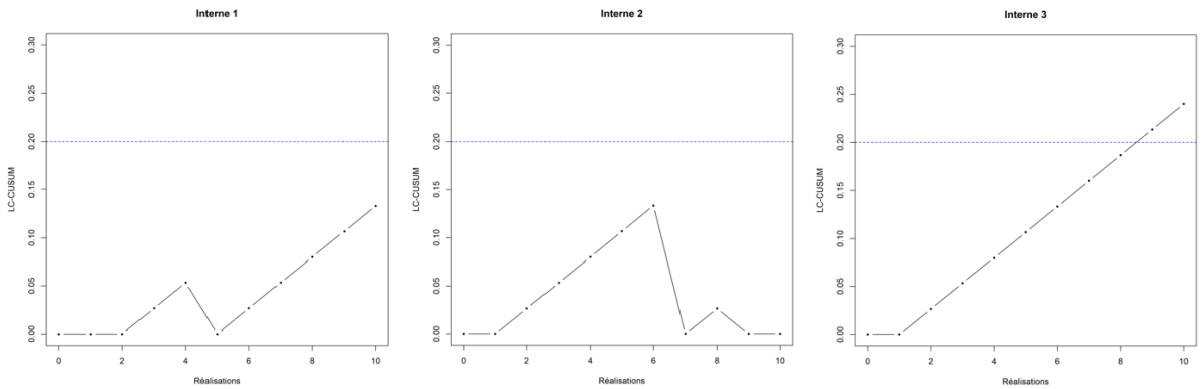
1) Généralités :

La figure 5, représente les courbes d'apprentissage avec la méthode LC-CUSUM, en échographie doppler transcrânien. Chaque courbe correspond à un interne et permet de visualiser la progression individuelle au fil des sessions.

Parmi les 13 internes inclus, 5 ont complétés les 10 sessions d'échographie. Parmi eux, seul 3 ont dépassés le seuil h, fixé à 0.20, ce qui signifie qu'ils ont acquis la technique étudiée.

Parmi les 6 autres candidats, il existe des données manquantes, du fait que le nombre de sessions non réalisées, varient entre 1 à 7.

2) La méthode LC-CUSUM :



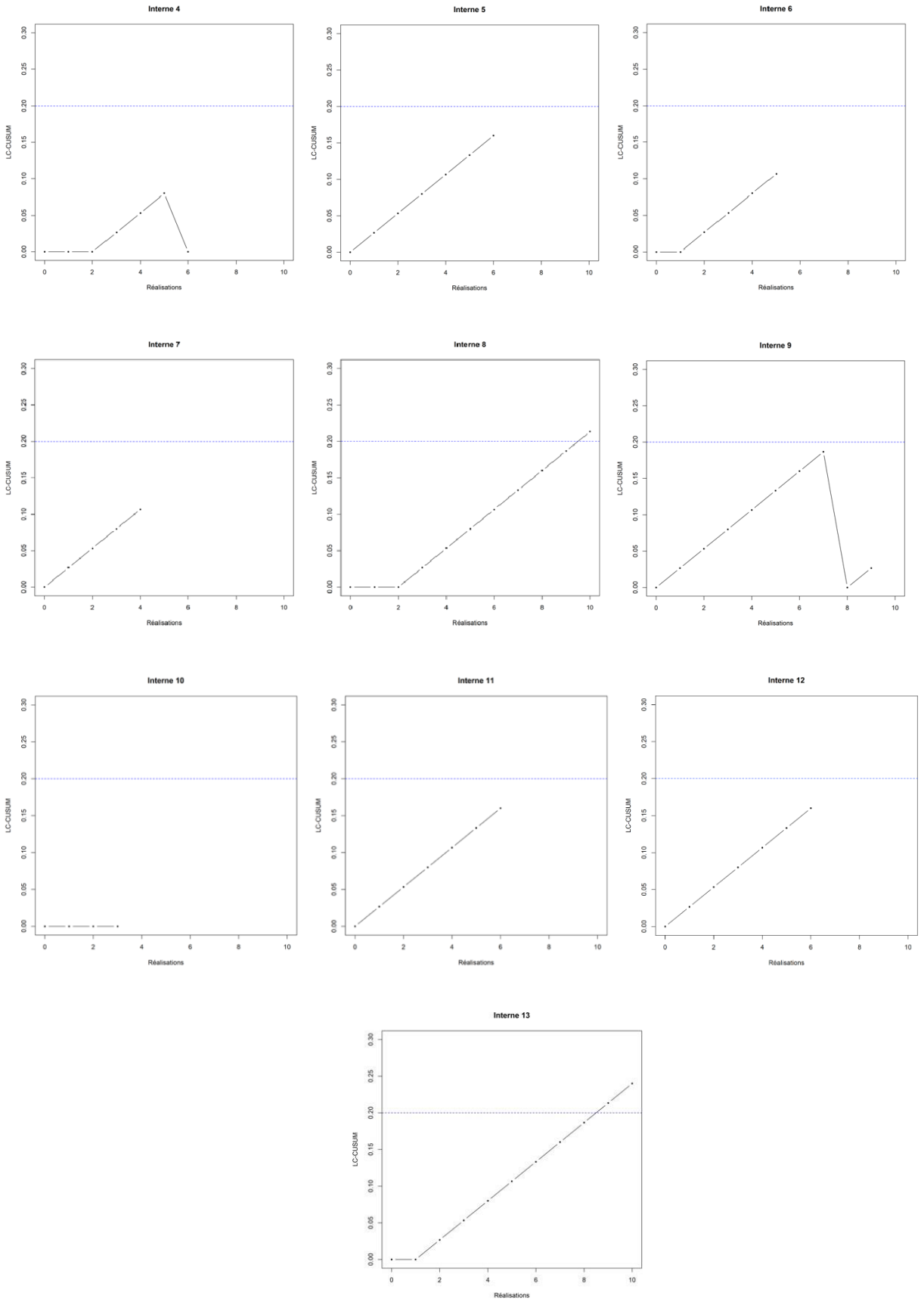


Figure 5 : Courbe d'apprentissage des internes en échographie doppler transcrânien numérotée de 1 à 13

On peut voir que sur les 13 internes, 3 internes (3, 8 et 13), dépassent le seuil h, ce qui signifie, qu'ils maitrisent la technique. Cela représente donc 23% de réussite, sur l'ensemble des internes pour qui les 10 sessions ont été complétées.

Aussi, pour les internes (1, 5, 6, 7, 11, 12), on voit que la méthode est en cours d'acquisition, avec rapidement une réussite à chaque session réalisée, mais que nous ne pouvons pas conclure à une maîtrise complète du fait, d'un manque de sessions réalisées.

Par ailleurs, on remarque que pour les internes 2 et 9, que la compétence était en cours d'acquisition avec une courbe linéaire jusqu'à la 6ème session. Ensuite, on note un échec, qui entraîne une cassure de la courbe, dont le poids est évalué à -0.405.
Cet échec, a un impact majeur sur la courbe des candidats, et nécessiterait 15 succès pour compenser et retrouver le niveau précédent. Ce qui souligne la rigueur de la méthode pour valider l'acquisition des compétences.

Pour l'interne numéro 10, celui-ci a été rapidement perdue de vue.

II- L'analyse du temps de réalisation des coupes, au fil des séances :

Le tableau 2 représente le temps de réalisation médian, au fil des sessions.
On remarque qu'il y a une tendance à la baisse du temps de réalisation au cours des séances. En effet, il passe de 154 secondes à la session 1 à 64.5 secondes à la session 10.
Cela indique donc une amélioration des performances des internes au cours de l'étude et donc une acquisition progressive de la technique d'échographie.

Sessions	Temps médian (s)	Q1	Q3
1	154	126	206
2	182	101	358
3	189	129	277
4	177	93,5	261
5	131,5	112	207
6	85	59	180
7	84	44	128
8	122	38	180
9	67	34	150
10	64,5	33	73

Tableau 2 : Temps de réalisation médian par session

III- L'analyse du questionnaire de satisfaction :

1) Réponses sur la formation théorique :

Sur les 12 internes ayant répondu au questionnaire de satisfaction, 10 d'entre eux, soit 83.3 %, jugent qu'il aurait fallu davantage de séances dédiées à la formation théorique.

Aussi, les candidats avaient accès tout au long de l'étude à des diaporamas, mais seulement 6 d'entre eux, s'y sont référés mais rarement et 6 ne s'y sont pas du tout référés.

2) Réponses sur la formation pratique :

Sur les 12 candidats, ayant répondu aux questionnaires, 100% (12), pensent que cette formation pratique est utile pour des internes exerçant aux urgences.

Parmi les internes inclus, 8 d'entre eux, soit 66.7%, considèrent être assez à l'aise de réaliser des coupes d'échographie de Doppler Transcrânien et 25%, soit 3 internes, s'estiment peu à l'aise. Et 8.3%, ne se sentent pas du tout à l'aise.

Par ailleurs, seulement 16.7% d’entre eux jugent être tout à fait capable de réaliser les coupes sur des patients et 41.7%, se sentent assez capable.

On note que seulement 8.3 %, soit 1 interne, ne se sent pas du tout capable d’en réaliser sur un patient.

58.3%, soit 7 internes, s’accordent pour dire qu’il aurait fallu plus de sessions et les 5 autres, soit 41.7%, pensent que 10 sessions pour la formation pratique étaient suffisantes.

3) Réponses à texte libre :

À la suite du questionnaire de satisfaction, les internes ont partagé leurs retours et ont formulé plusieurs suggestions concernant l'étude.

En effet, 7 internes, soit 58.3%, suggèrent d'avantages de séances théoriques ou d’allier la formation théorique et pratique, pour une meilleure acquisition des compétences.

Tandis que, 3 d’entre eux, soit 25%, ont exprimés leur besoin d’avoir un référent expert présent lors des sessions, pour une meilleure maîtrise de la technique.

Enfin, certains internes (8%), ont recommandé d’augmenter le nombre de séances de formation pratique, mais aussi de les rapprocher en termes de temps et d’espace et donc de trouver un centre de formation plus accessible.

Discussion :

I- Intérêt de notre étude :

Le traumatisme crânien est une des principales causes de morbidité et mortalité dans le monde et un motif fréquent de consultation aux urgences et d'intervention en milieu préhospitalier.
Un des enjeux majeurs de la prise en charge du patient cérébrolésé, est de prévenir les lésions secondaires voir le décès du patient.

Parmi les facteurs pronostiques les plus déterminants, l'hypoxie et l'hypotension artérielle occupent une place majeure, et leur association, potentialise le risque d'ischémie et favorise l'apparition d'une hypertension intracrânienne. (15)

Ainsi, un monitorage cérébral précoce est essentiel afin d'optimiser la prise en charge thérapeutique et limiter les complications. (15)

Grâce à son caractère non invasif et sa facilité d'utilisation, l'échodoppler transcrânien (DTC) reste un outil de monitorage particulièrement pertinent dans la prise en charge du traumatisé crânien.

En effet, une étude menée en 2011 par P. Bouzat a évalué la capacité du DTC à prédire l'aggravation neurologique après un traumatisme crânien léger à modéré. Les résultats ont démontré que cet outil permet d'exclure efficacement ce risque, renforçant ainsi son intérêt clinique. (14)

Selon les recommandations de la SFMU de 2018, l'échodoppler transcrânien est recommandé pour l'évaluation des patients traumatisés crâniens, en particulier pour identifier les anomalies du flux sanguin dans l'artère cérébrale moyenne. Il est utile pour détecter les signes précoces de dégradation neurologique secondaire, ce qui permet de commencer rapidement les traitements visant à améliorer la pression de perfusion cérébrale. (16)

Toutefois, peu d'études ont évalué l'utilisation de l'échodoppler transcrânien aux urgences ainsi que la formation des urgentistes à cette technique. Il apparaît donc intéressant de voir si cette formation est facilement accessible, peu coûteuse et intégrable dans la pratique clinique.
C'est dans cette perspective que s'inscrit notre étude, en analysant la courbe d'apprentissage du DTC, afin de déterminer le nombre de séances nécessaires pour une formation efficace et durable, chez des internes naïfs de formation échographique.

II – Discussion autour des résultats :

Dans notre étude, nous avons inclus 13 internes : 3 étaient des internes de 1er semestre de médecine générale et le reste, étaient des internes de médecine d'urgence de différents semestres (allant du 4ème au 7ème semestre).

Le critère de jugement principal :

Nous avons pu observer une progression assez globale des candidats au long de notre étude, mais seulement 3 d'entre eux (3, 8, 13) ont acquis la compétence recherchée dans notre étude. Le candidat 3, est un interne de 1er semestre de médecine générale, qui n'a pas eu de formation ECMU et les candidats 8 et 13, sont respectivement des internes de 4ème et 7ème semestre de

médecine d'urgence. Le candidat 8 n'a eu qu'une formation d'ECMU 1, mais n'a pas fait de stage en réanimation, contrairement au candidat 13, qui lui, a eu une formation d'ECMU 1 et 2 ainsi qu'un stage en réanimation où il a eu l'occasion de pratiquer et d'utiliser l'échodoppler transcrânien.

Malgré une formation hétérogène de ces 3 candidats, on note une acquisition rapide de l'utilisation de l'échodoppler transcrânien, et une réussite linéaire à partir de la 4e session.

Ce qu'on peut ainsi déduire, c'est que l'apprentissage du DTC est accessible et qu'un interne naïf de formation échographique, peut être former de manière simple et rapide.

Parmi les internes inclus, 5 d'entre eux (5, 6, 7, 11 et 12) ont une courbe linéaire, et on peut dire que la compétence est en cours d'apprentissage, bien qu'ils n'aient pas complétés les 10 sessions.

On peut donc imaginer, que si les sessions avaient été abouti, ces 5 internes, auraient acquis la compétence étudiée.

Les critères de jugement secondaires :

Les analyses descriptives de notre étude ont révélé une diminution du temps médian d'exécution des coupes échographiques pour les participants. Ce gain en vitesse suggère que les internes ont gagné en aisance au fil des sessions, avec une amélioration du maniement de l'échographe.

A la fin de notre étude, un questionnaire de satisfaction a été envoyé aux candidats.

Tous les candidats sont unanimes pour affirmer qu'il s'agit d'une formation utile pour la pratique aux urgences.

Par ailleurs, 7 internes, s’accordent pour dire qu’il aurait fallu plus de sessions pratiques, parmi eux les candidats 3 et 8, bien qu’ils aient pourtant acquis la compétence.
Nous avons aussi souhaité connaître leur avis sur leur capacité à effectuer des coupes de DTC, notamment chez des patients cérébrolésés. Et 8 d’entre eux, considèrent être assez à l’aise.
Parmi eux, on retrouve les candidats 3, 8 et 13 qui ont validés la formation mais aussi, les candidats 5,6 et 11 qui, obtiennent à la fin de l’étude, une courbe de progression linéaire malgré qu’ils n’aient pas complétés les 10 sessions.

Bien qu'une progression constante soit observée chez les candidats 7 et 12, ces derniers se sentent néanmoins peu compétents pour réaliser une coupe échographique de DTC dans leur pratique quotidienne. En effet, ces candidats n'ont participé respectivement qu'à 4 et 6 séances de formation pratique. On peut donc supposer qu'un nombre supplémentaire de séances leur permettrait de gagner en aisance.
En ce qui concerne la formation théorique, 10 d’entre eux, jugent qu’il aurait fallu davantage de séances dédiées à la formation théorique. Pourtant, seuls 6 internes, se sont référés aux cours disponibles sur la plateforme DIGIFORMA.

A la question libre sur les suggestions et améliorations à apporter à la formation, certains internes ont soulignés que la présence d’un médecin expert, pourrait être bénéfique pour apporter un retour sur la réalisation des coupes, et consolider l’apprentissage à la fois théorique et pratique de chacun.

Ainsi, on peut affirmer que la formation au DTC est réalisable, accessible, simple, peu coûteuse et rapide. Toutefois, certaines améliorations seront nécessaires pour optimiser l’acquisition des

compétences échographiques, telles que des rappels théoriques réguliers ou encore, la pratique sur des patients cérébrolésés.

Analyse statistique LC-CUSUM :

Pour l'analyse statistique de l'étude, nous avons opté pour la méthode LC-CUSUM, afin de construire la courbe d'apprentissage des internes.

Initialement utilisée pour le contrôle qualité en industrie, cette méthode a trouvé sa place en médecine et est devenue un outil pour évaluer la progression des compétences, notamment des internes.

En effet, celle-ci permet une évaluation personnalisée en assurant une surveillance continue et efficace de chaque interne. Ainsi, contrairement aux méthodes traditionnelles, elle permet une formation plus adaptée de chaque apprenant, en garantissant qu'un niveau de compétence adapté est atteint avant de l'autoriser à être autonome. (17,18)

Par ailleurs, l'analyse des résultats, est liée aux paramètres choisis initialement.

On rappelle que dans notre étude, nous avons fixé un taux d'échec acceptable à 5%, sur 10 sessions et un taux d'échec non acceptable à 10%. Ce qui signifie, qu'on accepte moins d'un échec par interne, soit une tolérance proche de zéro est admise.

Avec ces paramètres, le poids d'un échec est à -0.405 ce qui fait descendre la courbe rapidement après un échec. Et celui d'un succès est à +0.027 ce qui fait augmenter lentement la courbe après un succès. C'est ce qu'on observe d'ailleurs, avec les courbes des candidats 2 et 9.

La méthode LC-CUSUM est donc très sensible aux erreurs, et il faudrait 15 succès consécutifs pour compenser un seul échec.

Cela témoigne de l'exigence élevée de notre étude et d'être suffisamment assurés de l'acquisition de la technique par les internes, afin de l'intégrer à terme, dans leur pratique aux urgences et d'améliorer ainsi la prise en charge des patients cérébrolésés.

III- Ce qu'on retrouve dans la littérature :

Dans la littérature, le nombre de séances nécessaires pour maîtriser une compétence en échographie varie considérablement. Selon les recommandations de l'ACEP publiées en 2017, il est recommandé de réaliser entre 25 à 50 examens par application (comme la FAST, l'échographie cardiaque ou encore, l'échographie 4 points), pour atteindre un niveau de compétence satisfaisant. (19) Toutefois, ces recommandations n'abordent pas spécifiquement l'échodoppler transcrânien.

Selon l'étude menée par Corre M en 2013 (20), 6 examens seraient suffisants, à la suite d'une formation théorique rapide, pour réaliser une coupe de DTC en moins de deux minutes. Et notre étude semble être en accord avec la littérature, puisque le temps de réalisation médian à partir de la 6ème session était de 85 secondes. Si on ne s'intéresse qu'à la composante temporelle, cela suggère que l'apprentissage est rapide, ce qui représente un avantage pour une prise en charge efficace aux urgences.

Cependant, contrairement à notre étude, celle de Corre ne prend pas en compte des critères qualitatifs tels que la qualité de l'enveloppe spectrale ou la visualisation adéquate de l'ACM. Il reste donc incertain qu'au bout de 6 séances seulement, les coupes obtenues soient systématiquement interprétables et que ces acquis se maintiennent dans le temps.

Par ailleurs, nos résultats sont discordants avec d'autres études, notamment celle de Brocheux

menée en 2014 et celle de Brandini et Freund en 2018.

L'étude de Brocheux, tout comme la nôtre, s'est intéressée à la courbe d'apprentissage du Doppler transcrânien chez des internes novices. Il conclut que l'acquisition du geste semble nécessiter 57 examens. (21)

Si les critères qualitatifs sont similaires aux nôtres, la méthode d'évaluation de réussite est différente. En effet, après 5 DTC réalisés par un interne, les mesures sont comparées à celles d'un référent expert. Et une différence inférieure à 10% par rapport aux valeurs de l'expert est considérée comme une réussite.

Cette approche est intéressante, car cela permet d'identifier plus rapidement les erreurs, offrant ainsi aux internes un retour ciblé et immédiat. Cela favorise une amélioration plus rapide des performances et garantit une progression plus durable sur le long terme.

D'ailleurs, cela rejoint une remarque soulevée par les internes dans le questionnaire de satisfaction. Plusieurs ont exprimé que la présence d'un référent expert tout au long de la formation aiderait à mieux maîtriser la technique avec un retour régulier et personnalisé comme le suggère l'étude de Brocheux.

La thèse de Brandini et Freund en 2018, s'est également portée sur la courbe d'apprentissage du DTC chez des internes novices, mais sur des patients cérébrolésés, contrairement à notre étude qui portent sur des volontaires sains. (22)

Tout comme l'étude de Brocheux (21), elle se repose sur l'évaluation des coupes échographiques par la concordance entre l'examen de l'interne et celui de l'expert. Elle conclut à un plateau d'apprentissage atteint après 30 examens de DTC. (22)

Ainsi, ils mettent en avant la reproductibilité des mesures, un critère essentiel pour garantir une formation stable et durable, particulièrement dans un contexte d'urgence.

L'étude de Brandini et Freund, se distingue également par son application sur des patients

cérébrolésés, permettant ainsi une évaluation en conditions réelles de la pratique clinique.

Donc, les discordances observées avec la littérature, peuvent s'expliquer par le fait qu'on s'est davantage focalisée sur la technique, avec des critères qualitatifs stricts pour valider une coupe. Cette exigence pourrait justifier pourquoi après 10 sessions, seuls 3 internes dépassent le seuil h et atteignent la compétence attendue.

IV – Les limites de l'étude :

Notre étude présente plusieurs limites qu'il convient de souligner.

Tout d'abord, elle comporte des faiblesses méthodologiques, à commencer par le lieu de réalisation de l'étude, à savoir le Centre Hospitalier de Béthune. Cette contrainte logistique, a probablement contribué à un échantillon restreint, composé de seulement 13 internes, ainsi qu'à l'absence de participation complète aux 10 sessions organisées. De plus, des contraintes d'emploi du temps ont parfois entravé leur présence aux sessions.
Par conséquent, certaines sessions se sont déroulés à l'hôpital de Saint Vincent, après accord des chefs de service, afin d'offrir des conditions plus pratiques aux internes, et faciliter la réalisation des coupes échographiques. Toutefois, cela a induit un biais de confusion, lié à l'utilisation d'un appareil d'échographie différent, avec un temps de réalisation nécessaire prolongé des coupes.

De plus, les séances ne sont pas supervisées, et les internes sont laissés en auto-apprentissage, ce qui introduit un biais de sélection. En effet, certains internes oublient parfois de relever certaines mesures, ce qui entraîne un manque de données important dans notre étude.

D’autre part, comme mentionné ci-dessus, nous avons recruté 13 internes sur la base du volontariat. Cependant, seuls 5 d’entre eux ont complété les 10 sessions prévues, et 3 ont acquis la compétence, ce qui a réduit la puissance statistique de l’étude et rend difficile la généralisation des résultats.

Par ailleurs, un seuil h a été arbitrairement fixé à 0.20 dans l’analyse statistique, ce qui a pu également introduire un biais et contribuer au manque de puissance statistique observé. En effet, la performance a montré taux de 62% de probabilité de faux positifs, ce qui peut rendre les résultats non significatifs.

Aussi, la population recrutée présente des profils variés en termes de spécialité et de formation. Bien que l’étude suggère que cette hétérogénéité des profils n’impacte pas l’acquisition des compétences en DTC, des analyses statistiques auraient été intéressantes pour potentiellement confirmer cette hypothèse. Néanmoins, étant donné que seulement trois internes en médecine générale ont participé contre dix en DESMU, la taille de l’échantillon est insuffisante pour des résultats significatifs.

Enfin, la formation pratique des internes s’est uniquement déroulée sur des volontaires sains, ce qui limite l’extrapolation des résultats à la pratique clinique réelle. Ils n’ont pas eu l’occasion de réaliser des coupes échographiques sur des patients cérébrolésés où les conditions physiopathologiques sont plus complexes. Ainsi, bien que certains semblent avoir acquis la compétence technique, il pourrait nécessiter un temps d’adaptation supplémentaire à l’application clinique.

V – Les perspectives :

L'échographie occupe une place de plus en plus importante dans notre pratique aux urgences. Il est donc essentiel de généraliser son apprentissage à diverses applications, tant pour les internes que pour les médecins thésés n'ayant pas bénéficié de formation échographique au cours de leur parcours.

Par ailleurs, l'intérêt croissant des études pour la courbe d'apprentissage des internes vise à proposer une formation plus rapide et personnalisée.

Concernant le doppler transcrânien, il serait pertinent de mener d'autres études, avec une puissance statistique plus élevée, afin de déterminer le nombre d'examens nécessaires à sa maîtrise. Une étude multicentrique incluant différents services d'urgence et ouverte aux internes d'autres spécialités permettrait de recruter un plus grand nombre de candidats et d'augmenter ainsi la validité des résultats.

De plus, l'accompagnement par un expert pendant l'apprentissage pourrait favoriser une acquisition plus solide des compétences et renforcer l'adhésion des candidats, limitant ainsi les abandons.

Cette formation pourrait également être étendue aux professionnels paramédicaux. En effet, il serait intéressant pour les infirmiers des urgences, notamment ceux postés en IOA, d'utiliser le DTC dans les cas de traumatisme crânien. Une réalisation rapide d'un DTC permettrait d'améliorer le triage des patients et de faciliter une prise en charge thérapeutique immédiate, si nécessaire.

Le traumatisme crânien étant également fréquent en contexte préhospitalier, l'utilité du DTC dans ce cadre mérite d'être explorée plus en profondeur.

Une étude menée par Tazarourte en 2011 a évalué l'utilité du DTC en préhospitalier dans la prise

en charge des traumatisés crâniens. Il conclut, que cet examen permettait de détecter les patients à risques de manière précoce mais aussi d'améliorer leur pronostic (13). Bien que cette étude ait porté sur seulement 18 patients, elle suggère un impact positif du DTC dans la prise en charge des traumatismes crâniens graves.

Il serait pertinent de reproduire cette étude à plus grande échelle.

Aujourd'hui, la majorité des voitures de SMUR étant équipées d'échographes portables, la réalisation rapide d'un DTC pourrait non seulement orienter le patient plus rapidement vers un centre de neurochirurgie si nécessaire, mais aussi permettre l'administration précoce d'une osmothérapie. Cette approche pourrait avoir un impact significatif sur le pronostic neurologique et vital des patients.

Enfin, à notre connaissance, aucune étude n'a encore étudié l'impact de l'utilisation du DTC dans le cadre du prélèvement multi-organes. Pourtant, son usage précoce pour le diagnostic d'état de mort encéphalique pourrait augmenter le nombre de donneurs potentiels. Il serait donc particulièrement intéressant de mener des recherches sur ce sujet.

Conclusion :

Le Doppler transcrânien semble être un outil indispensable dans notre pratique aux urgences, et son adoption à grande échelle pourrait significativement améliorer la prise en charge des patients cérébrolésés.

Il est donc essentiel d'intégrer son apprentissage dans la formation des internes.

Notre étude a mis en évidence une progression relativement rapide et linéaire chez la majorité des participants, avec 3 d'entre eux ayant acquis la compétence technique après 10 sessions. Bien que nous ne puissions pas conclure avec certitude que 10 sessions suffisent pour une formation pratique et durable au DTC chez des internes naïfs d'échographie, il serait pertinent de mener cette étude de manière plus longue et avec un effectif plus important, afin d'obtenir une meilleure puissance statistique et confirmer ces résultats.

Nous pourrions également envisager d'étendre cette formation à des applications cliniques réelles, notamment en préhospitalier chez les patients cérébrolésés, ou encore dans le cadre du diagnostic de mort cérébrale afin d'optimiser la prise en charge hémodynamique du patient et optimiser le prélèvement multi-organes.

Bibliographie :

1. Quesnel C, Fulgencio J. Mort encéphalique : quel est le meilleur examen diagnostique à faire ? Réanimation. oct 2008;17(7):657-63.

2. Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. J Neurosurg. déc 1982;57(6):769-74.

3. D'Andrea A, Conte M, Scarafile R, Riegler L, Cocchia R, Pezzullo E, et al. Transcranial Doppler Ultrasound: Physical Principles and Principal Applications in Neurocritical Care Unit. J Cardiovasc Echography. juin 2016;26(2):28.

4. Themes UFO. 12: Doppler transcrânien (DTC) | Medicine Key [Internet]. Disponible sur: https://clemedicine.com/12-doppler-transcranien-dtc/

5. Vigue B, Tazarourte K, Geeraerts T, Ract C, Duranteau J. Le doppler transcrânien en réanimation. Réanimation. oct 2007;16(6):538-45.

6. Jaffres P, Francony G, Bouzat P, Brun J, Declety P, Fauvage B, et al. Le doppler transcrânien aux urgences chez le traumatisé crânien. Réanimation. nov 2007;16(7-8):665-72.

7. D'Andrea A, Conte M, Cavallaro M, Scarafile R, Riegler L, Cocchia R, et al. Transcranial Doppler ultrasonography: From methodology to major clinical applications. World J Cardiol. 26 juill 2016;8(7):383-400.

8. Fiorentino A. Traumatisme crânien : gravité, surveillance et conseils. Congrès Urgences 2013**,** Société Française de Médecine d'Urgence (SFMU); 2013

9. Geeraerts T, Velly L, Abdennour L, Asehnoune K, Audibert G, Bouzat P, et al. Prise en charge des traumatisés crâniens graves à la phase précoce (24 premières heures). Anesth Réanimation. déc 2016;2(6):431-53.

10. Tentillier E, Ammirati C. Prise en charge préhospitalière du traumatisé crânien grave. Ann Fr Anesth Réanimation. avr 2000;19(4):275-81.

11. Tazarourte K, Foudi H, Gauthier A, Foudi L, Gammoura K. Prise en charge initiale des traumatismes crâniens graves et monitorage avant l'arrivée en centre spécialisé. 2011;

12. Gil-Jardiné C, Payen JF, Bernard R, Bobbia X, Bouzat P, Catoire P, et al. Management of patients suffering from mild traumatic brain injury 2023. Anaesth Crit Care Pain Med. août 2023;42(4):101260.

13. Tazarourte K, Atchabahian A, Tourtier JP, David JS, Ract C, Savary D, et al. Pre-hospital transcranial Doppler in severe traumatic brain injury: a pilot study. Acta Anaesthesiol Scand. 2011;55(4):422-8.

14. Bouzat P, Almeras L, Manhes P, Sanders L, Levrat A, David JS, et al. Transcranial Doppler to Predict Neurologic Outcome after Mild to Moderate Traumatic Brain Injury. Anesthesiology. août 2016;125(2):346-54.

15. Tazarourte K, Kleitz O, Laribi S, Vigué B. Prise en charge des traumatisés crâniens graves. EMC - Médecine. déc 2005;2(6):605-16.

16. Martinez M, Duchenne J, Bobbia X, Brunet S, Fournier P, Miroux P, et al. Deuxième niveau de compétence pour l'échographie clinique en médecine d'urgence. Recommandations de la Société française de médecine d'urgence par consensus formalisé. Ann Fr Médecine D'urgence. juin 2018;8(3):193-202.

17. Biau DJ, Williams SM, Schlup MM, Nizard RS, Porcher R. Quantitative and individualized assessment of the learning curve using LC-CUSUM. Br J Surg. 1 juill 2008;95(7):925-9.

18. Biau D, Porcher R. LC-CUSUM test. Anaesthesia. juill 2010;65(7):755-6.

19. Ultrasound Guidelines: Emergency, Point-of-Care and Clinical Ultrasound Guidelines in Medicine. Ann Emerg Med. 1 mai 2017;69(5):e27-54.

20. Corre M, Courbe d'apprentissage du Doppler Transcrânien, [Thèse de doctorat], Poitiers, 2013, 27p

21. Brocheux R, Evaluation et courbes d'apprentissage du doppler transcrânien auprès des de médecins juniors, [Thèse de doctorat], Paris, 2014, 54p

22. Brandini E, Freund S. Courbe d'apprentissage de l'urgentiste junior à la réalisation du doppler transcrânien chez les patients cérébrolésés. [Thèse de doctorat], Grenoble, 2018, 49 p

Annexe :

Annexe 1 : Recueil du profil et consentement des candidats

Profil des candidats et consentement :

1- Nom /Prénom :

2- Quel est votre DES de spécialité ?
a- Médecine Générale
B- Médecine d'Urgence

3- Quel semestre êtes-vous ?

4- Avez-vous déjà fait un semestre de réanimation ?

5- Avez-vous eu l'occasion de pratiquer l'échodoppler transcrânien ?

6- Avez-vous déjà eu une formation spécifique en échographie ? (type ECMU)

7- Avez-vous une certification en échographie ? (DIU)

8- Avons- nous votre consentement pour que des mesures d'échographies soient effectuées dans le cadre de cette étude ?

Annexe 2 : Déclaration CNIL MR004

CNIL.
COMMISSION NATIONALE INFORMATIQUE & LIBERTÉS

Référence CNIL :
2236044 v 0

Déclaration de conformité

au référentiel de méthodologie de référence MR-004

reçue le 11 octobre 2024

Madame Hella BEN AMMAR

59800 LILLE

ORGANISME DÉCLARANT

Nom :	Madame BEN AMMAR Hella	**N° SIREN/SIRET :**	
Service :		**Code NAF ou APE :**	
Adresse :		**Tél. :**	0659053025
CP :	59800	**Fax. :**	
Ville :	LILLE		

Par la présente déclaration, le déclarant atteste de la conformité de son/ses traitement(s) de données à caractère personnel au référentiel mentionné ci-dessus.

La CNIL peut à tout moment vérifier, par courrier ou par la voie d'un contrôle sur place ou en ligne, la conformité de ce(s) traitement(s).

Fait à Paris, le 14 octobre 2024

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

3 Place de Fontenoy, TSA 80715 – 75334 PARIS CEDEX 07 – 01 53 73 22 22 – www.cnil.fr

Les données personnelles nécessaires à l'accomplissement des missions de la CNIL sont conservées et traitées dans des fichiers destinés à son usage exclusif. Les personnes concernées peuvent exercer leurs droits Informatique et Libertés en s'adressant au délégué à la protection des données de la CNIL via un formulaire en ligne ou par courrier postal.

Pour en savoir plus : https://www.cnil.fr/donnees-personnelles

Annexe 3 : Questionnaire de satisfaction :

Questionnaire de satisfaction :

Pour la formation théorique :

1- **Pensez-vous qu'une seule séance théorique était suffisante ?**

- Oui, c'était suffisant
- Non, il aurait fallu plus de séances

2- Vous êtes-vous référé aux cours qui vous étaient disponibles pendant l'étude?

- Oui, régulièrement
- Oui, mais rarement
- Non, pas du tout

Pour la formation pratique :

3- Cette formation vous semble-t-elle utile pour un interne aux urgences ?

- **Oui**
- **Non**

4- Vous sentez-vous à l'aise pour réaliser des coupes d'échodoppler transcrânien ?

- Oui, tout à fait à l'aise
- Oui, assez à l'aise
- Peu à l'aise
- Pas du tout à l'aise

5- Vous sentez-vous capable de réaliser des coupes sur patient ?

- Oui, tout à fait capable
- Oui, assez capable
- Peu capable
- Pas du tout capable

6- Pensez-vous que le nombre de séances proposées était suffisant ?

- Oui, c'était suffisant
- Non, il aurait fallu plus de séances
- Non, il y avait trop de séances

Retour sur l'organisation :

7- Quelles améliorations suggéreriez-vous?

8- Avez-vous d'autres commentaires ou remarques ?

Annexe 4 : Cours sur le DTC

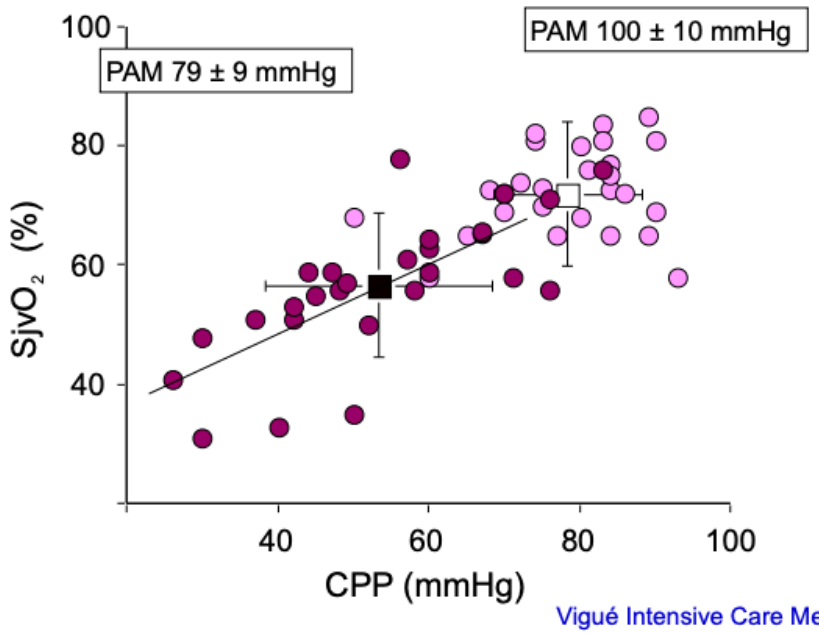
Doppler transcrânien en urgence
Le traumatisme crânien

K Tazarourte, Melun
AE Dubart, CH Béthune

Pronostic des traumatismes crâniens

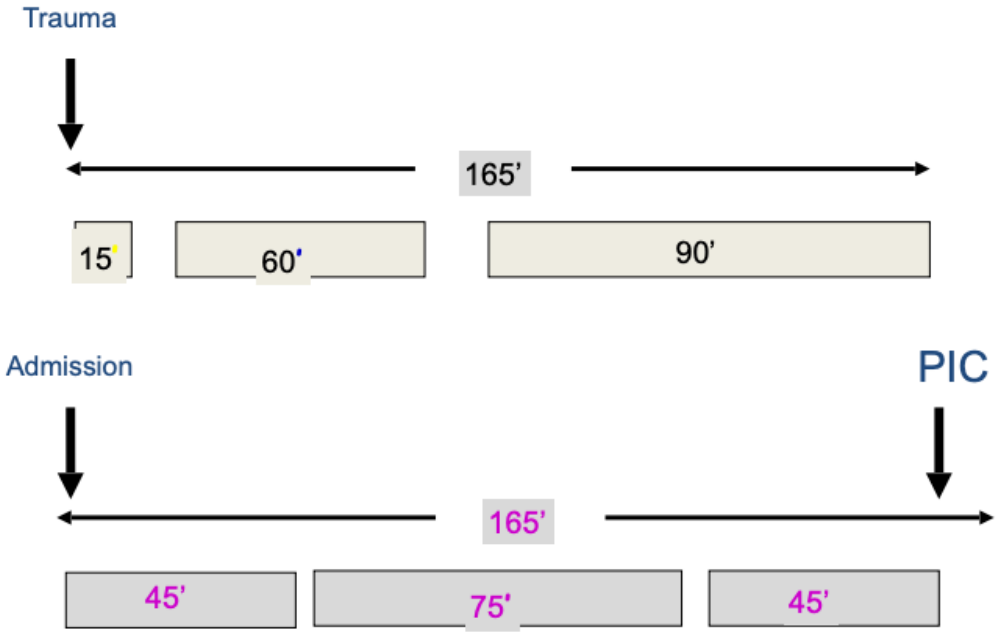
- Lésions primaires constituées lors de l'impact
- Lésions secondaires entraînant une ischémie cérébrale
  - Lésions intracrâniennes (12 % de lésions neurochirurgicales dans les TC graves) PHRC 2005-07
  - Hypotension pré-hospitalière : mortalité x 2
    Chesnut J Trauma 1993
    IMPACT Study J Neurotrauma 2007
  - Association hypotension, hypoxie, hyperthermie
    Jones J Neurosurg 1994
  - Importance du contrôle du temps
    – « 24 premières heures » GeeraertsT ICM 2007

PAM 80 mmHg et triage

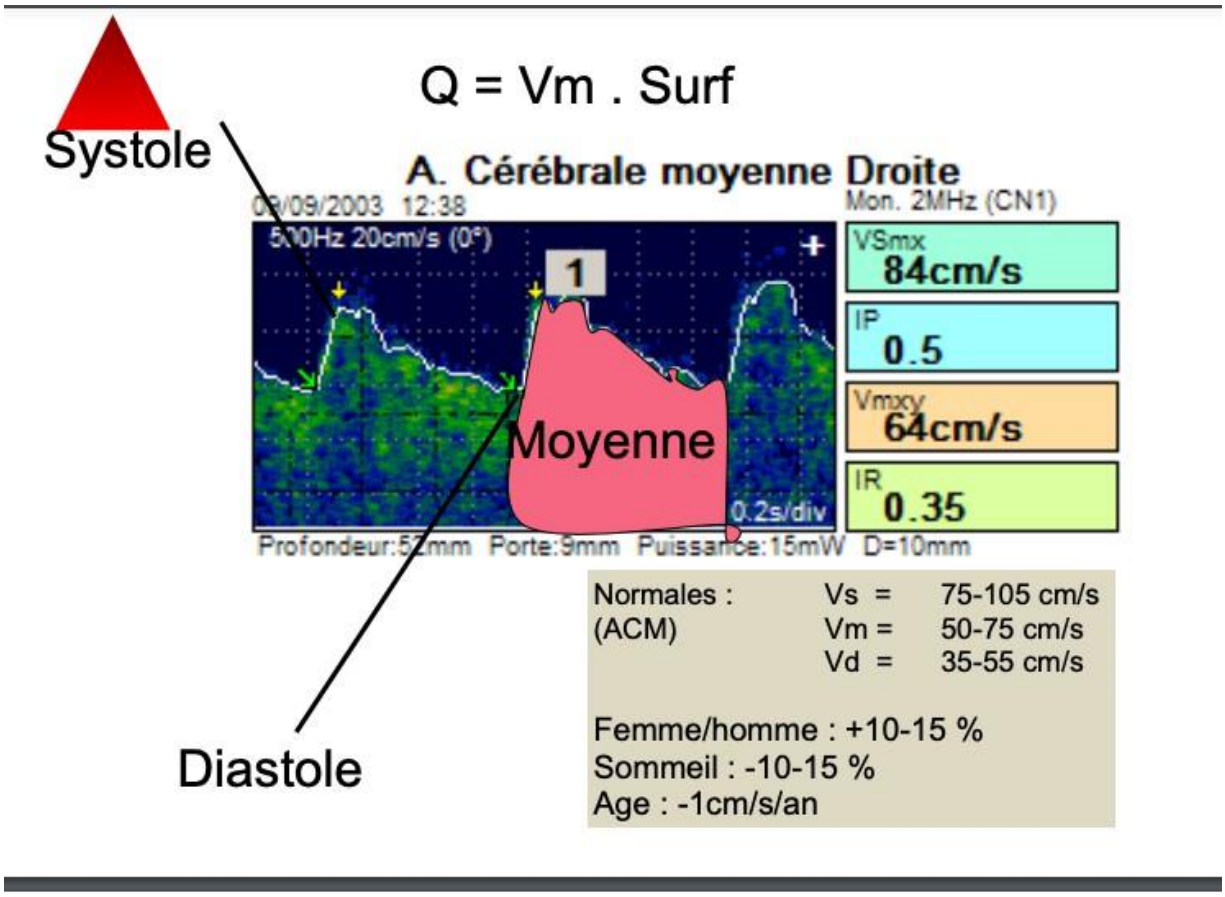


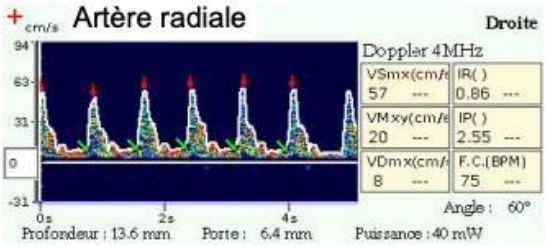
Vigué Intensive Care Med 1999

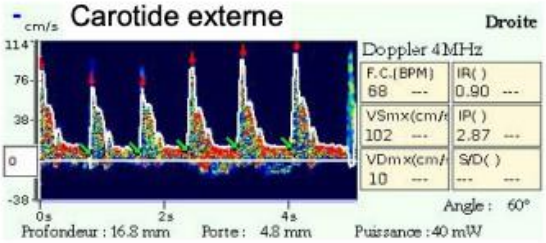
De la rue à la PIC

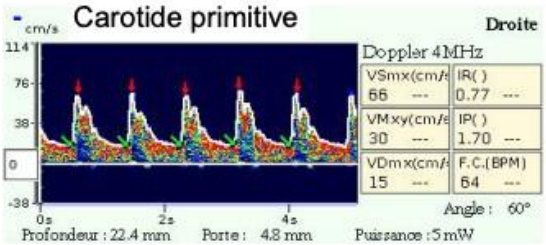


Rouxel, Tazarourte AFAR 2004

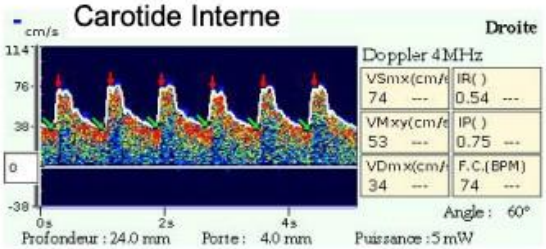






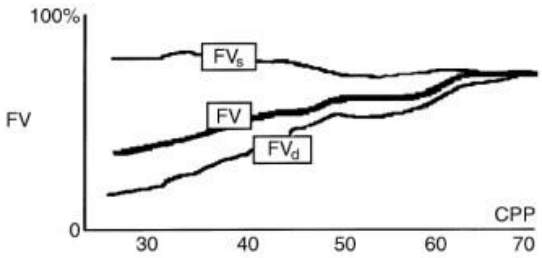


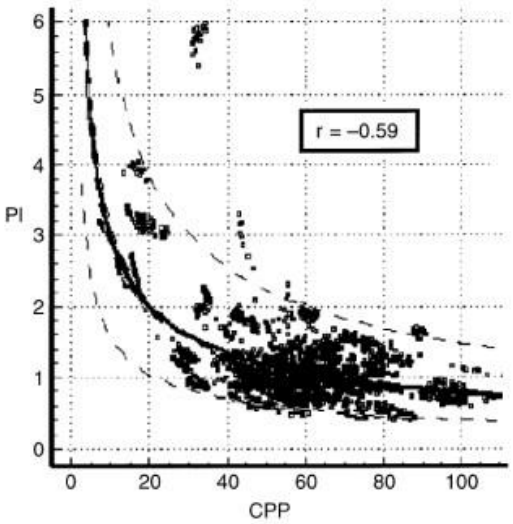
variations de flux diastoliques



IP et Vd

- Importance de L'IP pour annuler l'angle d'insonation
- Valeur de la diastole pour évaluer les résistances





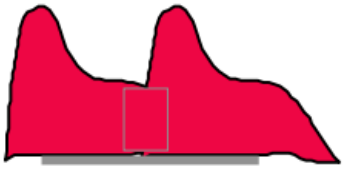
Czosnyka, Neurosurgery 1994
Kirkpatrick, in Head injury 1997

Les limites

- Le patient
- Anémie aiguë
- Hypocapnie
- Vasospasme
- Opérateur

Anémie : ennemie

Hémodilution : majoration du DSC et des V, mais diminution du TaO_2

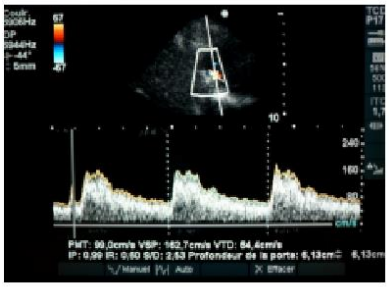


DTC = faux ami

Portion initiale M1

Correction 44 °

Gradient CO_2 : 4 mmHg



$ETCO_2$ = 40 mmHg

PIC = 13 mmHg

Vs 163 cm/s

Vm 99 cm/s

Vd 44 cm/s

IP 0,99

$ETCO_2$ = 24 mmHg

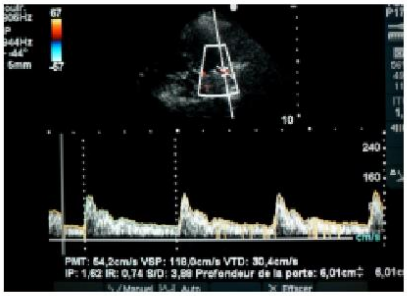
PIC = 8 mmHg

Vs 118 cm/s

Vm 54 cm/s

Vd 30 cm/s

IP 1,62



$ETCO_2$ = 35 mmHg

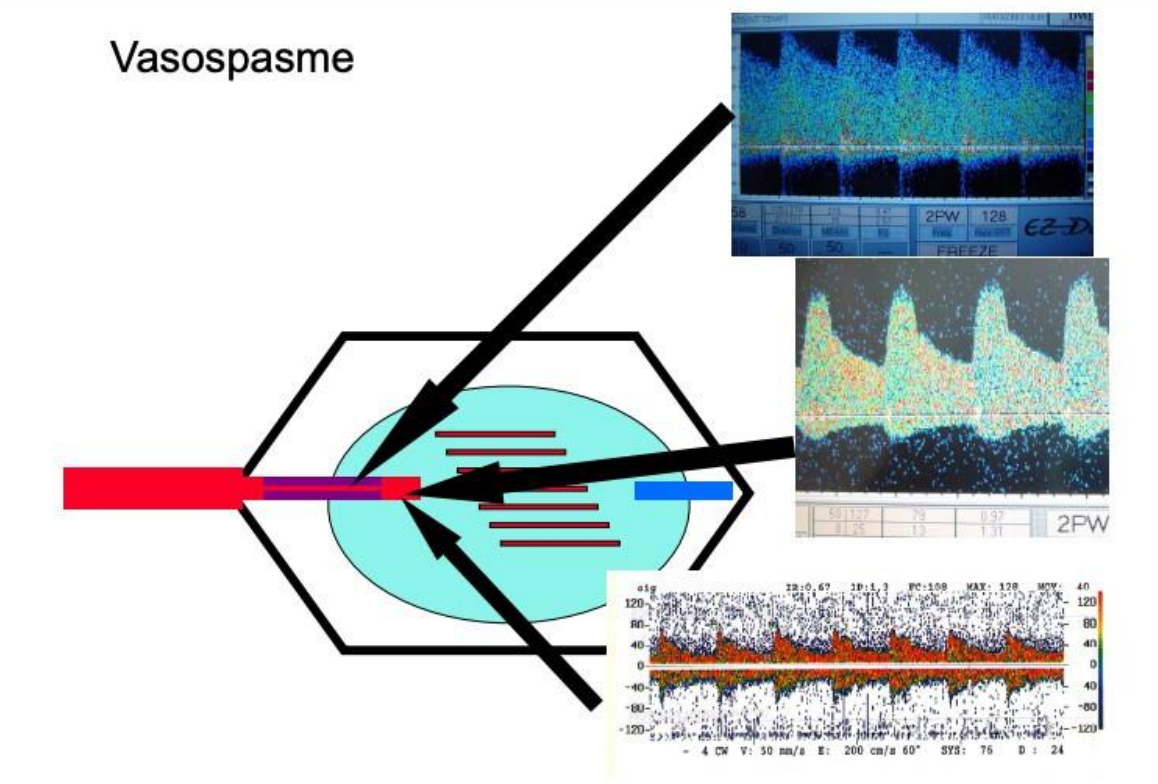
PIC = 11 mmHg

Vs 154 cm/s

Vm 81 cm/s

Vd 54 cm/s

IP 1,23


Vasospasme
2PW
128
FREEZE
2PW

AUTEUR(E) : Nom : BEN AMMAR **Prénom : Hella**

Date de soutenance : 25/04/2025

Titre de la thèse : La courbe d'apprentissage de l'échodoppler transcrânien chez des internes novices d'échographie, dans le cadre du traumatisme crânien

Thèse - Médecine - Lille 2025

Cadre de classement : Médecine d'Urgence

DES + FST/option : Médecine d'Urgence

Mots-clés : DTC, traumatisme crânien

Résumé :

Contexte : Le Doppler transcrânien (DTC) permet une détection précoce des anomalies du flux sanguin cérébral, permettant ainsi une prise en charge rapide des patients cérébrolésés pour limiter les lésions secondaires et améliorer leur pronostic. Toutefois, son utilisation par les urgentistes reste limitée en raison de sa complexité perçue et de la nécessité d'une formation spécifique. Ainsi notre étude a pour objectif d'étudier la courbe d'apprentissage du DTC chez des internes novices, afin de pouvoir mieux l'intégrer dans notre pratique quotidienne et la prise en charge du traumatisé crânien.

Matériel et Méthodes : 13 internes novices, ont été inclus dans cette étude, dont 10 internes de médecine d'urgence et 3 internes de médecine générale. Après une courte formation théorique, ils ont réalisé à 10 reprises sur volontaire sain une coupe d'échographie de doppler transcrânien, et ont mesuré l'index de pulsatilité. Les images ont été relues par un expert en aveugle, qui les a notées comme des réussites ou des échecs. Une courbe d'apprentissage a ensuite été modélisée pour chaque interne par la méthode LC CUSUM. Les participants ont répondu à un questionnaire de satisfaction à la fin de notre étude.

Résultats : La courbe d'apprentissage des internes réalisée par la méthode LC-CUSUM, avec une limite h fixée à 0,20, montre que 3 participants ont acquis la compétence globale au bout des 10 sessions.

Conclusion : Notre étude a mis en évidence une progression relativement rapide et linéaire chez la majorité des participants, avec trois d'entre eux ayant acquis la compétence technique après 10 sessions. D'autres études impliquant un suivi prolongé et un nombre accru de participants seraient nécessaires pour valider nos résultats.

Composition du Jury :
Président : Professeur Éric WIEL

Assesseurs :
Docteur DELACROIX DUBART Alice
Docteur WAUQUIER Adrien

Directeur de thèse :
Docteur DUBART Alain-Éric